

На правах рукописи

ЛАПИДУС Александр Анатольевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПРИ ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ  
И ПРОДЛЕНИИ РЕСУРСА

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические  
системы

Работа выполнена на кафедре «Электрические станции и автоматизация  
энергетических систем» в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет».

**АВТОРЕФЕРАТ**

Научный руководитель: диссертации на соискание ученой степени  
доктор технических наук, профессор  
кандидата технических наук  
Черновец Александр Кузьмич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Гук Юрий Борисович  
кандидат технических наук  
Мельничников Сергей Александрович

Ведущая организация: ФГУП Санкт-Петербургский институт  
Санкт-Петербург – 2004  
Атомэнергопроект (СПБАЭП)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. На сегодняшний день целый ряд энергоблоков отечественных электростанций выработал свой временный ресурс эксплуатации, заложенный при проектировании. В связи с этим остро встает вопрос о возможности продолжения работы этих энергоблоков, возникает необходимость мероприятий, направленных на их реконструкцию и продление ресурса. Особенно это актуально для атомных электростанций, предъявляющих повышенные требования по надежности и безопасности эксплуатации.

Одной из составляющих реконструкции электростанции является совершенствование системы ее электроснабжения, т.е. системы собственных нужд (СН). Основные электрические процессы, протекающие в системах электроснабжения электростанций, – короткие замыкания, самозапуск и пуск электродвигателей, совместный выбег турбогенератора с нагрузкой СН – существенно влияют на надежность, безопасность и экономичность функционирования всей электростанции в целом. Поэтому вопросы, связанные с процессами в системах собственных нужд электростанций, весьма актуальны.

Целью диссертационной работы являются определение, разработка и исследование направлений совершенствования систем СН электростанций различного типа, обеспечивающих продление ресурса электростанций, а также

в области методической:

создание методик расчета основных процессов в сетях СН применительно к созданию методики учета теплового спада тока при расчете температур временным директивным материалам и современному оборудованию систем нагрева жил кабелей после КЗ;

СН.

- создание методики выбора кабелей и автоматических выключателей в сетях. В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- создание методики определения фазы остаточного напряжения асинхронных электродвигателей относительно напряжения резервного источника при

- разработка математической модели нагрева жил кабелей СН при протекании по ним токов КЗ;

В области практической реализации:

- исследование на данной математической модели теплового спада тока в

- расчет токов короткого замыкания в сетях СН АЭС, ТЭС и ГЭС, температур нагрева жил кабелей СН, процесса самозапуска электродвигателей СН,

- численное интегрирование методом последовательных интервалов системы дифференциальных уравнений движения асинхронных электродвигателей;
- объектно-ориентированное программирование в среде Microsoft Access на языке Visual Basic for Applications.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

Проведено исследование систем электроснабжения АЭС, ТЭС и ГЭС с позиции реконструкции электростанций и продления их ресурса.

Исследован вопрос учета теплового спада тока при КЗ на отрезке кабельной линии.

Создана методика расчета разности фаз остаточного напряжения асинхронного электродвигателя и питающего напряжения резервного источника при самозапуске в зависимости от длительности перерыва питания.

Даны теоретические и расчетные обоснования техническим мероприятиям по совершенствованию систем электроснабжения электрических станций.

Разработана и реализована на ЭВМ новая методика выбора кабелей и автоматических выключателей при проектировании сетей 0,4 кВ для электрификации зданий и сооружений электростанций.

- на предприятиях Росэнергоатом, ФГУП СПБАЭП при проектировании АЭС с реакторами ВВЭР-1000, ВВЭР-640, а также ОАО СевЗапВНИПИЭнергатаы работы используются на следующих электростанциях и предприятиях:  
 - на Кольской АЭС при замене ОДГ на тиристорные преобразователи с целью обеспечения установившейся работы на нагрузку СН и удовлетворения

Апробация работы и публикации. Результаты работы докладывались на:  
 требования СУЗ;

- научно-практической конференции СПбГПУ «Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий». Санкт-Петербург, электроснабжения энергоблоков; 2002;

- на Северной ТЭЦ Ленэнерго при проверке кабельных линий на невозгорание и исследовании процесса самозапуска; VII Всероссийской конференции СПбГПУ по проблемам науки и высшей школы. Санкт-Петербург, 2003;

- на Каскаде Нивских ГЭС (ГЭС-1,2,3,9,10,11) при проверке кабельных межвузовских научных конференциях СПбГПУ. Санкт-Петербург, 2002 – 2003;

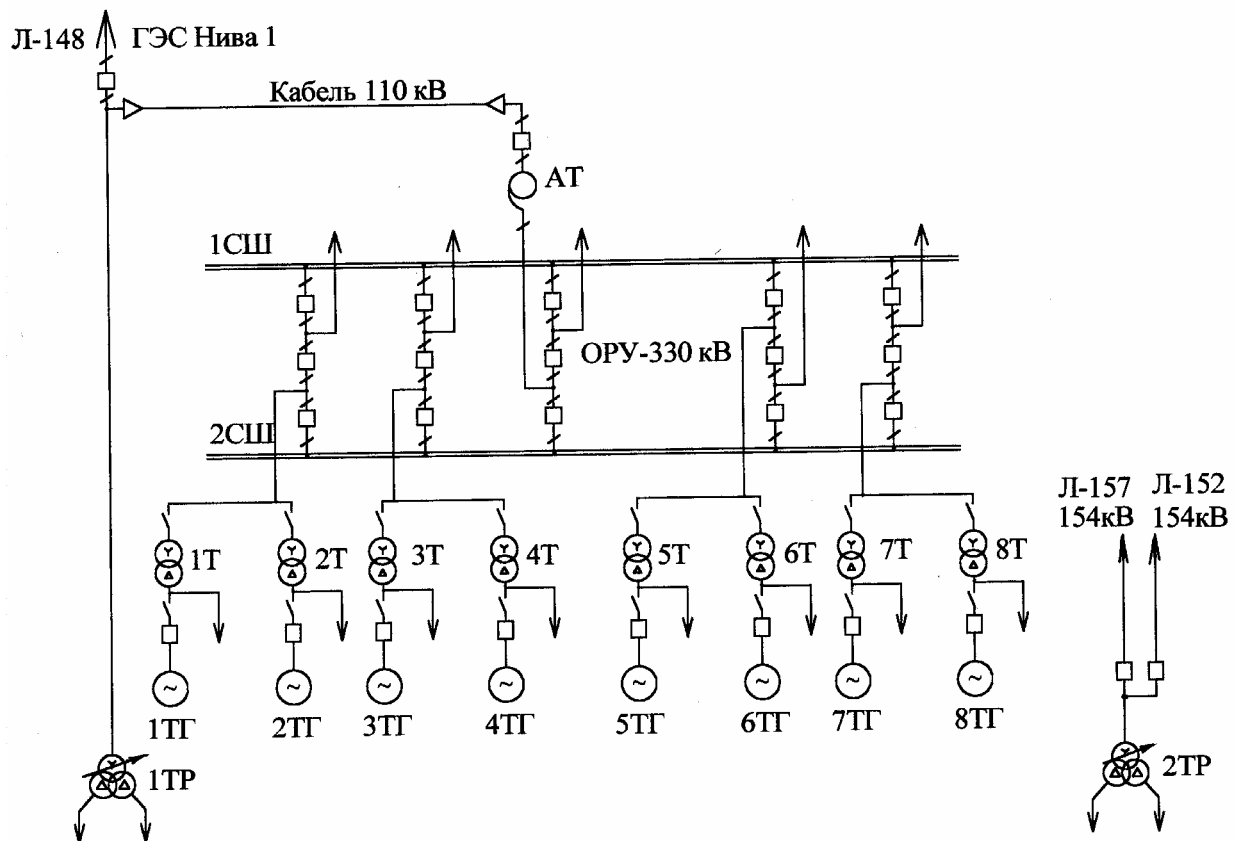
ний 0,4 кВ;  
 - международной научно-практической конференции СПбГПУ «Теорети-

ческие и практические проблемы развития электроэнергетики России». Санкт-

В первой главе диссертации произведен обзор основных направлений совершенствования систем электроснабжения АЭС, ТЭС и ГЭС в связи с необходимостью реконструкции и продления ресурса действующих электростанций. Показано, что рассмотренные направления совершенствования систем СН позволяют существенно повысить надежность, безопасность и экономичность работы всей электростанции в целом.

Во второй главе даны методики расчета основных процессов, протекающих в системах СН электростанций, которые позволяют рассчитывать значения токов короткого замыкания, тепловых импульсов токов КЗ, температур нагрева жил кабелей во время КЗ. Также имеется возможность рассчитывать основные параметры процесса самозапуска (начальное напряжение при восстановлении питания, минимальное напряжение при самозапуске, длительность самозапуска, времена отключения электродвигателей ступенями защиты минимального напряжения), вычислять фазу остаточного напряжения асинхронных электродвигателей относительно напряжения резервного источника.

В третьей главе приводятся расчеты перечисленных процессов для Кольской АЭС, Петрозаводской ТЭЦ, Каскада Нивских ГЭС



ние АТ связи практически не влияет на термическую стойкость кабелей и отключающую способность выключателей.

При замене РТСН выключатели ячеек КРУ 6 кВ проходят по отключающей способности, термической и электродинамической стойкости. Требуемое минимальное сечение кабелей по условию термической стойкости, увеличивается на одну ступень (от 95 мм<sup>2</sup> до 120 мм<sup>2</sup>), по условию невозгораемости – на 2 ступени (от 95 мм<sup>2</sup> до 150 мм<sup>2</sup>).

Результаты расчета самозапуска показали, что наиболее тяжелыми являются режимы самозапуска от предварительно загруженного РТСН. В этих режимах вторая ступень защиты минимального напряжения (ЗМН-2) на секциях, испытавших перерыв питания, не успевает отключить предусмотренные к отключению двигатели.

Режимы самозапуска одновременно двух блоков от одного РТСН завершаются быстрее, чем режимы самозапуска от предварительно загруженного РТСН, благодаря отключению части двигателей второй ступенью ЗМН.

При установке АТ связи 330/110 кВ с точки зрения облегчения режимов

самозапуска резервное питание СН первой очереди Кольской АЭС следует осуществлять от сети 330 кВ, что значительно сократит время самозапуска за счет увеличения мощности питающей сети.

1. Одновременное обесточивание двух (из четырех) секций главного корпуса при участии в составе нагрузок секций водогрейной котельной.  
2. Одновременное обесточивание двух (из четырех) секций главного корпуса при коротких перерывах питания  $\sim 0,3 \div 0,5$  с, электродинамическое воздействие на двигатели может превысить нормированное воздействие, поскольку

Самозапуск электродвигателей механизмов СН Петрозаводской ТЭЦ в остаточное напряжение на секциях в момент несинхронного переключения на нормальном режиме работы и при перерывах питания до 2,5 с для рассмотренного резервного трансформатора превышает 50%  $U_{ном}$ . Поэтому необходимо либо выбрать вариант является успешным и в значительной мере зависящим от напряжения, поддерживаемого на МРП. Проведены расчеты для двух значений напряжений на МРП – 6,3 и 6,7 кВ. Поддержание на МРП рабочего напряжения

Для Петрозаводской ТЭЦ (рис.2) были проведены расчеты, связанные с нарушением в работе 24.02.02, когда произошел полный сброс электрической и тепловой нагрузки после короткого замыкания на системе шин ОРУ-110 кВ. Для 6,7 кВ вместо 6,3 кВ позволяет заметно повысить начальное напряжение при самозапуске и сократить его продолжительность, в особенности при длительных перерывах питания в 2,5 с.

Приведены расчеты по двум вариантам самозапуска:  
Наиболее тяжелым является расчетный вариант 1 из-за высокой и неравномерной загрузки обмоток сдвоенного токоограничивающего реактора и



Недостатком существующей схемы с включением РТСН-1 на генераторный токопровод Г2 в нормальном режиме является отсутствие тормозной нагрузки СН для Г2 и последующая невозможность автоматического ввода резерва (АВР). Если же выбег генератора Г2 осуществлять на нагрузку секций 1С, 2С, то тормозная нагрузка для Г2 существует, но источник АВР отсутствует.

В еще большей степени недостаток питания СН ПТЭЦ проявляется в ремонтном состоянии схемы. Например, при ремонте блока с генератором Г2 и отсутствии резервного трансформатора РТСН-1 длительность самозапуска возрастает, для предвключенной нагрузки требуется работа ступеней ЗМН-1 и даже ЗМН-2. По завершении процесса самозапуска требуется восстановление в работе как потребителей, отключенных в процессе выбега, так и потребителей предвключенной нагрузки, отключенных в процессе самозапуска ЗМН-1 и ЗМН-2.

Время срабатывания АВР после окончания совместного выбега турбогенератора с нагрузкой СН даже для самого неблагоприятного ремонтного режима не превышает 120 с, из чего видно, что уставка времени отключения генераторного выключателя и срабатывания автомата гашения поля может быть снижена - применить электроснабжение СН генератора Г2 по схеме, аналогичной от 240 с (это значение рекомендовано Ленинградским механическим заводом) генератору Г3.

до 150 с.

Для гидроэлектростанции «Нива-3» Каскада Нивских ГЭС выполнен расчет совместного выбега генератора с последующим действием АВР чет токов КЗ на секциях 0,4 кВ и 6(10) кВ и проведена проверка кабельных линий можно признать успешным. Основную задачу режим совместного выбега вынужден на невозгорание при протекании тока КЗ согласно циркуляру №Ц-02-98(Э). По результатам расчета составлен перечень необходимых мероприятий по безопасности, при внезапном отключении турбогенератора от сети и отказах в улучшению пожарной безопасности кабельных коммуникаций, состоящих в теме регулирования частоты его вращения.

увеличений сечений кабелей и снижении времен срабатывания защит присоединений 0,4 кВ.

Повысить эффективность использования режима совместного выбега можно за счет модернизации системы электроснабжения СН:

В четвертой главе дается обоснование перехода систем СН электростанций - РТСН-1 следует подключить к ОРУ-110 кВ; с напряжений 6/0,4 кВ на напряжения 10,5/0,69/0,4 кВ. Приведен пример такого - заменить двоярный токоограничивающий реактор на одоярный реактор перехода для проектируемого энергоблока с реакторами ВВЭР-640, подтвер- или разделительный трансформатор; ждающий теоретические положения.

пряжения 0,38 и 0,22 кВ с электроснабжением через трансформаторы агрегатов бесперебойного питания (АБП) с напряжением 10,5/0,4 кВ. Дизель-генераторы системы аварийного электроснабжения предлагается перевести на напряжение 10,5 кВ с использованием трансформаторов надежного питания 10,5/0,69 кВ и разделительных трансформаторов АБП 10,5/0,4 кВ.

Также следует учитывать удорожание двигателей напряжением 10 кВ по сравнению с двигателями на 6 кВ.

В пятой главе рассматриваются вопросы, связанные с кабельными коммуникациями в сетях СН. Приводится обзор, характеристика и классификация отечественных кабелей. Рассмотрена проблема обеспечения невозгораемости кабелей в сетях СН электростанций. Анализируются кабели нового поколения с улучшенными показателями пожарной безопасности. Дан анализ циркуляра №Ц-02-98(Э) «О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания». Выводятся формулы циркуляра для расчета температуры нагрева жил кабелей при КЗ. Обосновывается необходимость учета теплового спада тока вследствие увеличения активного сопротивления жил кабелей при их нагреве током КЗ, при выборе расчетной точки КЗ на расстоянии 20 м (кабелеплекс «Сети электрификации зданий»).

Программный комплекс предназначен для автоматизированного выбора кабелей с алюминиевыми и медными жилами с точки зрения их термической стойкости и невозгораемости.

В шестой главе описывается программный комплекс по автоматизированной работе в рабочих режимах, по нагрузочной способности и по условиям термической стойкости при коротких замыканиях.

При создании программного комплекса учтены общие требования между-народных стандартов, национальных стандартов России, Германии и Франции, электрификации производится вручную, что осложнено не только возникающими погрешностями, но и большими трудозатратами.

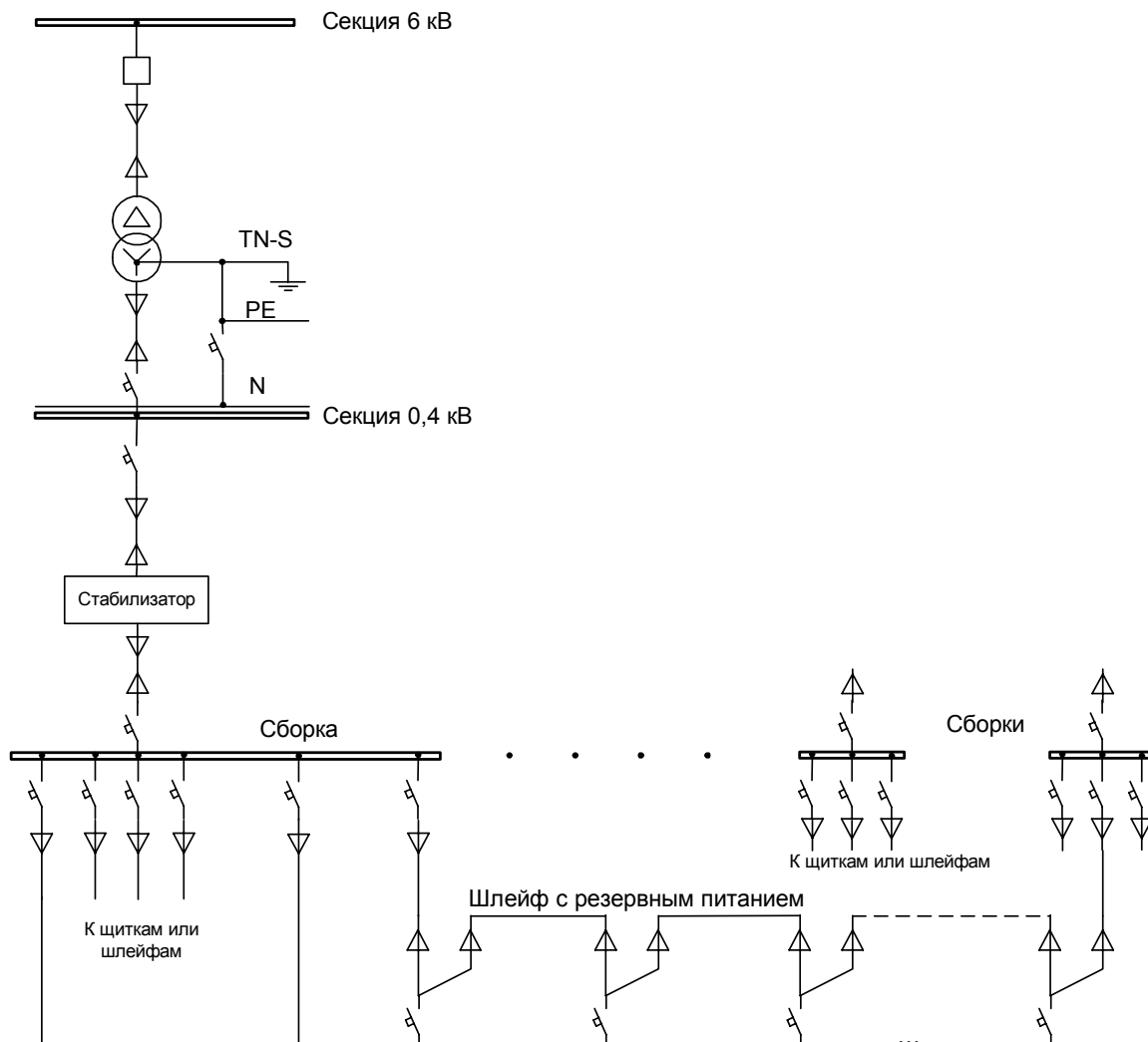
Для повышения точности расчетов и для автоматизации процесса выбора кабелей и параметры окружающей среды.

Выбранные выключатели, тип и сечение жил кабелей обеспечивают:

электрификации зданий электростанций разработан новый программный комплекс - селективное отключение тока короткого замыкания в любой точке сети

раньше, чем произойдет нагрев кабеля до предельно допустимой температуры;





Программный комплекс реализован в среде Microsoft Access 97, программирование выполнено на языке Visual Basic for Applications. Разработан пользовательский интерфейс для диалогового ввода исходной информации с запросом параметров электрооборудования из таблиц Базы данных и с клавиатуры, предусматривается контроль ввода данных и обработка ошибок с выдачей диагностических сообщений и рекомендаций. Результаты автоматизированного выбора оборудования заносятся в таблицы и хранятся в базе данных сети.

Отлажен механизм переноса щитков и соединений на другие сборки и щитки схемы. Таким образом, пользователь имеет возможность оптимизировать распределение потребителей по секциям.

Алгоритм выбора оборудования носит итеративный характер, т.е. при выборе отдельного элемента проверяются все остальные элементы и вносятся необходимые корректировки.

Рис 3. Расчетная схема сети освещения и электрификации

## ВЫВОДЫ

В рамках поставленной цели диссертационной работы определены, разработаны и исследованы направления совершенствования систем СН электростанций различного типа, обеспечивающие продление ресурса электростанций, а также созданы методики расчета основных процессов в сетях СН применительно к современным директивным материалам и современному оборудованию систем СН.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель нагрева жил кабелей 0,4–10 кВ при протекании по ним токов КЗ. На данной модели проведено исследование теплового спада тока в цепях, содержащих кабельные линии. Определены области сечений кабелей, для которых учет теплового спада тока обязателен, что позволяет предотвратить неоправданное увеличение сечения кабелей.

2. Исследована математическая модель самозапуска асинхронных электродвигателей механизмов собственных нужд, позволяющая оценить успешность

5. Создан программный комплекс по автоматизированному выбору оборудования самозапуска в зависимости от длительности перерыва питания, мощности питания в сетях неэлектродвигательной нагрузки 0,4 кВ, что позволяет снизить погрешность и трудоемкость проектирования таких сетей.

ного напряжения.

6. Рассчитаны основные процессы в сетях СН Кольской АЭС, Петрозаводской ТЭЦ и ГЭС-3 Каскада Нивских ГЭС. Разработан перечень мероприятий, направленных на совершенствование системы СН указанных электростанций и хронного электродвигателя относительно фазы напряжения резервного источника в зависимости от перерыва питания, что позволяет оценить вероятность обеспечивающих продление ресурса электростанций различного типа.

включения электродвигателей в противофазу с питающим напряжением и 7. Произведены анализ схем собственных нужд действующих АЭС, ТЭС и обеспечить электродинамическую стойкость двигателей при самозапуске.

ГЭС и выдача рекомендаций по их изменению для повышения надежности работы электростанции в целом.

4. Создана методика выбора кабелей и автоматических выключателей в сетях неэлектродвигательной нагрузки 0,4 кВ, что может применяться при проектирова-

**Результаты данного исследования позволяют решать практические задачи совершенствования систем СН при реконструкции и продлений ретехника и т.д.**

**сурса действующих электростанций, повысить точность расчета процессов**

**в сетях СН, снизить трудоемкость расчетов при выборе электротехниче-**

3) Лapidус А. А. Увеличение активного сопротивления проводников от их нагрева током короткого замыкания / Лapidус А. А. // XXXI неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научной конференции. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 5–7.

4) Лapidус А. А. Пуск и самозапуск электродвигателей механизмов собственных нужд электростанций : учеб. пособие / А. К. Черновец, К. Н. Семенов, А. А. Лapidус / Изд. 2-е, перераб. – СПб. : Изд-во ПЭИПК, 2004. – 72 с.

5) Лapidус А. А. Электрификация зданий и сооружений блочных ТЭС и АЭС / Черновец А. К., Шаргин Ю. М., Семенов К. Н., Чижков К. Г., Лapidус А. А. // Теоретические и практические проблемы развития электроэнергетики России. Труды международной научно-практической конференции. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2002. – С. 219–220.